

최고경영자 의지가 스마트제조 기술 실행수준과 생산성과에 미치는 영향: 상황적 관점

The Impact of Top Management Willingness on Smart Manufacturing Technologies Implementation Levels and Manufacturing Performance: Contingent Perspective

오 주 환 Juhwan Oh*
김 지 대 Jidae Kim**

요 약

본 연구의 목적은 스마트제조 시스템 도입과 실행에 관한 최고경영자의 의지가 스마트제조 기술(소프트웨어 기술, 하드웨어 기술) 실행수준과 생산성과에 미치는 영향을 파악하는 것이다. 아울러서 최고경영자 의지 → 스마트제조 기술 실행수준 → 생산성과의 관계에 영향을 주는 4개의 상황변수들(자원활용 효율성, 공정유형, 스마트공장 추진단계, IT능력)의 조절효과를 파악하는 것이다. 본 연구는 스마트공장을 도입한 국내 151개 제조기업을 대상으로 실증분석을 실시하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 스마트제조시스템 도입에 대한 최고경영자의 의지가 높을수록 스마트제조 소프트웨어 기술과 하드웨어 기술의 실행 수준이 모두 높았으며, 차례로 다차원 생산 성과에도 긍정적인 영향을 준 것으로 나타났다. 또한, 국내기업의 최고경영자들은 소프트웨어기술보다는 하드웨어기술에 대한 의존도를 높여 성과를 얻고자 하는 전략적 의도가 있음을 확인할 수 있었다. 둘째, 자원활용 효율성이 높은 기업의 경우 하드웨어기술의 역할이 중요한 반면, 자원활용 효율성이 낮은 기업에서는 소프트웨어기술이 중요한 역할을 한다는 점을 발견할 수 있었다. 셋째, 연속형 공정에서 최고경영자 의지가 소프트웨어기술뿐

논문접수일 : 2020년 9월 16일 1차 수정일 : 2020년 10월 30일 게재확정일 : 2020년 12월 24일

* 충북대학교 경영대학 경영학부 겸임교수, 제1저자 (E-mail: wkaqpffl@naver.com)

** 충북대학교 경영대학 경영학부 교수, 교신저자 (E-mail: jidkim@chungbuk.ac.kr)

아니라 하드웨어기술 실행수준 각각에 미친 영향이 상대적으로 이상형 공정 경우보다 모두 큰 것으로 나타났다. 넷째, 스마트공장 추진단계가 낮은 기업들에서 소프트웨어기술 실행수준이 다차원 생산성과에 미친 영향이 상대적으로 더 컸으며, 스마트공장 추진단계가 높은 기업에서 하드웨어기술 실행수준이 다차원 생산성과에 미친 영향이 상대적으로 더 큰 것으로 나타났다. 마지막으로 IT능력이 낮은 기업에서 소프트웨어기술 실행수준이 중요한 역할을 담당한 반면, IT능력이 높은 기업에서 하드웨어기술 실행수준의 역할이 큰 것으로 나타났다.

한글색인어: 스마트제조, 최고경영자 의지, 기술 실행수준, 생산성과, 상하이론 관점

ABSTRACT

The purpose of this study is to identify the effect of top management willingness towards introducing Smart Manufacturing (SM) on SM technologies (i.e., software and hardware technologies) implementation levels and manufacturing performance. Additionally, this study intends to examine the moderating effects of four contingency variables (i.e., resource utilization efficiency, process types, smart factory development stages, and IT capability) on the relationships among top management willingness, SM technologies implementation levels, and manufacturing performance. This study employed empirical analysis with questionnaire data obtained from 151 domestic manufacturing firms which have already introduced smart factory. The analysis results are summarized as follows. First, top management willingness towards introducing SM system has a positive influence on both software and hardware technologies of SM system, which in turn have a positive effect on multiple manufacturing performances. It is found that top managements of domestic manufacturing firms have a strategic intent to rely on SM's hardware technology more than SM's software technology to increase manufacturing outcomes. Second, top managements in the firms with less efficient utilization of resource are willing to make SM's software technology play a more pivotal role of enhancing manufacturing performance, while top managements with more efficient utilization of resource put more emphasis on the mediating role of SM's hardware technology. Third, in the continuous process type, top management willingness towards SM has positive influences on both software and hardware technology implementation levels more than in

the case of discrete process type. Fourth, in the manufacturing firms with lower stages of smart factory development, SM' software technology influences multiple manufacturing performances more than SM's hardware technology, while SM's hardware technology in the firms with higher stages of smart factory implementation. Finally, in the firms with lower IT capability, top management willingness towards SM is more closely correlated with SM's software technology implementation level, which in turn translate into increased manufacturing performance, while top managements with higher IT capability raise more SM's hardware technology implementation level.

Key Words: smart manufacturing, top management willingness, technology implementation level, manufacturing performance, contingency theory perspective

I. 서론

우리나라 정부는 4차 산업혁명을 맞이하여, 제조기업들의 스마트팩토리 도입에 심혈을 기울이고 있다. 인적, 재정적 지원을 통해 제조현장을 획기적으로 변화시키는 노력을 기울이고 있다. 기업들도 점점 더 치열해 가는 경쟁환경에서 4차 산업혁명 기술을 활용하여 경쟁력을 향상시키고 지속가능한 성장을 도모하고 있다(Park, 2014; Shih, 2014). 이러한 상황에서 전략적 마인드가 중요하다. 기업은 자원의 한계로 모든 종류의 스마트팩토리 기술들을 적용할 수 없기 때문이다(Lee, 2013). 상황에 맞게, 제한된 자원을 효율적으로 투입하여 선택적으로 스마트팩토리 기술을 도입하고 실행하여 소기의 성과를 얻는 방법을 찾는 것이 중요하다.

스마트제조 시스템은 기본적으로 ICT기술과 기계/로봇 기술이 융합된 기술로 이루어진다(변대호, 2016). 이런 측면에서 스마트제조 기술은 크게 ICT기술(예, 빅데이터 수집 및 분석 기술, 시각화기술, 시뮬레이션 기술, IoT 등)로 대변되는 소프트웨어 기술과 기계/로봇기술(AGV, 인공지능 장비, 자동화 설비 등)이라는 하드웨어 기술로 분류할 수 있다(Won & Park, 2020). 스마트팩토리 혹은 스마트제조 기술에 대해 관심은 10여 년 전 부터 시작되었지만(Jang, 2017), 스마트제조에 관한 기존 연구문헌은 여전히 이 기술의 도입과 실행 방법에 대한 연구가 주류를 이루고 있다. 이제는 이러한 연구이슈를 넘어서 전략 혹은 상황적 관점에서 스마트제조 기술의 도입 및 실행을 성과와 연결시키는 방안을 찾는 노력이 요청되고 있다. 즉, 기업 경영자들이 상황을 고려하여 기업에 적합한 스마트제조 기술에 투자하여 성과를 얻는 경로를 규명하는 연구가 필요하다.

현장에서는 서로 상반되게 스마트제조 기술을 실행하는 모습을 발견할 수 있다. 첫 번째 모습은 기존 하드웨어(즉, 설비 및 장비)는 그대로 사용하되 센서, RFID, 바코드 등을 활용하여 소프트웨어 기술(예, MES, 빅데이터 분석 등)을 실행하는 데 우선적인 초점을 두고, 지능형 하드웨어 장비의 도입은 크게 강조하지 않는 모습이다. 이 모습은 우리나라 정부가 의도한 대로 먼저 제조현장을 디지털화하고 나서 설비 혹은 공정 프로세스를 변경하려는 스마트공장 발전단계 로드맵과 어느 정도 같은 맥락에 있다. 두 번째 모습은 먼저 기존 장비 및 설비를 자동화된 장비와 설비로 모두 새 것으로 바꾸는 하드웨어 기술 실행에 우선을 두고, 그 다음에 소프트웨어 기술을 실행하는 것이다. 구체적으로, 기존 장비와 설비를 지능형 자동화 설비로 과감히 교체한 후, MES와 빅데이터 수집/저장/분석기술 등을 활용하여 개인화된 제품을 효율적으로 생산하고자 하는 전략이다. 보편적으로 스마트제조 기술을 도입하고자 하는 기업의 최고경영자들은 첫 번째 경로로 스마트공장을 구축하고 있는 듯하다. 그러나 본 연구의 저자들이 경험한 바에 따르면, 어떤 경영자들은 처음부터 하드웨어를 먼저 교체하는 전략을 추구하여 성공적으로 성과를 거두고 있음을 확인한 바 있다. 이러한 현장의 이해는 최고경영자가 스마트제조 기술을 실행하는데 서로 다른 2가지 경로가 있음을 시사해 주고 있다. 그리고 어떤 상황에서 스마트제조 기술의 2가지 유형이 어떤 역할을 하는지가 관심의 초점이 된다.

전략적 선택(strategic choice) 이론 관점에서 최고경영자의 의도와 의지는 기업 전략 특성을 이해하는 데 큰 설명력을 갖는다(Doty et al., 1993; Prahalad & Hamel, 1990). 스마트 제조 기술과 같은 전략적 가치가 높은 의사결정은 최고경영자가 선택하게 되는데(Lee, 2017), 상황에 따라 최고경영자가 어떤 스마트제조 기술을 선택하는 지가 주요 연구이슈이다.

본 연구는 전략적 선택 이론 관점에서 최고경영자의 의지 → 스마트제조 기술(소프트웨어 기술, 하드웨어 기술) 실행수준 → 생산성과 간의 관계를 살펴보고자 한다. 또한, 본 연구는 상황이론 관점에서 최고경영자 의지 → 스마트제조 기술 → 생산성과 간의 관계를 조절하는 상황변수의 영향을 분석하고자 한다. 본 연구가 분석하고자 하는 상황변수는 (1) 기업의 자원활용 효율성 정도, (2) 공정유형, (3) 스마트공장 추진단계, 그리고 (4) 기업의 IT능력이다. 본 연구 저자들의 지식에 의하면, 스마트제조 분야에서 최고경영자의 의지가 스마트제조 기술선택과 성과에 미치는 영향이 상황에 따라 어떻게 달라지는지를 상세히 분석한 연구 문헌을 찾을 수 없었다.

본 연구는 스마트공장을 도입한 국내 151개 제조기업을 대상으로 설문조사를 실시하고, 연구모형의 타당성과 4가지 조절변수들의 조절효과를 분석하였다.

II. 이론적 배경과 연구가설

2.1 스마트제조에 관한 기존 문헌 고찰

4차 산업혁명 기술의 중요 특성은 개인화된 제품생산과 분산화된 공장 네트워크, 환경영향 최소화, 그리고 서비스화(Servitization)이다(김기영, 2019; 김은 등, 2018). 스마트팩토리는 이러한 4차 산업혁명에 핵심역할을 담당하고 있다. 가치사슬 관점에서 스마트팩토리를 구성하는 요소는 다양하다. Frank et al.(2019)은 스마트팩토리를 구성하는 요소로 (1) 스마트공급사슬(smart supply chain), (2) 스마트작업(smart working), (3) 스마트제조(smart manufacturing), (4) 스마트제품(smart product)을 제시한 바 있다.

스마트팩토리는 제조현장뿐 아니라 제품, 서비스, 공급자, 고객현장까지 고려하고 전체 가치사슬 시스템의 능동적 동기화를 달성하는 데 초점을 둔다(NIST, 2014). 반면에, 스마트제조는 제조현장에 국한하여 ICT기술과 설비 자동화 기술을 융합하여 제조현장이 내부 및 외부 조건에 능동적으로 대처하는 시스템이다(Frank et al., 2019; Wiktorsson et al., 2018). 따라서 스마트제조는 협의의 스마트팩토리이다. 본 연구는 스마트제조를 연구대상으로 한다.

스마트제조 기술로 IoT, 사이버물리 시스템, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터 분석, 3D 프린팅, 로봇, 가상 및 증강현실 기술, 그리고 최근에는 블록체인 기술까지 거론되고 있다(Frank et al., 2019). Culot et al.(2020)은 스마트제조 기술을 다음과 같이 4가지 유형으로 구분한 바 있다. (1) 물리(physical)/디지털(digital) 인터페이스 기술(예, IoT, 시각화기술, 사이버-물리 시스템기술), (2) 네트워크 기술(예, 클라우드 컴퓨팅, 블록체인 기술), (3) 데이터 처리 기술(예, 빅데이터 분석, 인공지능), (4) 물리-디지털 공정기술(예, 로봇, 공장자동화 기술)이다.

앞에서 언급한 바와 같이, 스마트제조는 제조현장을 디지털화하고 지능화시켜 내/외부 상황을 능동적으로 대응하는 것이다. 이러한 맥락에서, Wiktorsson et al.(2018)은 스마트제조 기술은 2가지 유형, 즉 (1) 정보통신기술과 (2) 자동화기술로 간명하게 구분하고 있다. 이와 유사하게 Won and Park(2020)은 스마트제조 기술을 소프트웨어 기술과 하드웨어 기술로 구분하고 있다. 본 연구는 Won and Park(2020)의 분류방식을 따라 스마트제조 기술을 다음과 같이, 소프트웨어기술과 하드웨어기술로 구분한다.

- **소프트웨어 기술**: 제조현장에서 발생하는 데이터를 디지털화하고 원자재-제품-기계-사람 등을 연결하여 실시간으로 현장(shop floor)을 모니터링하여, 선제적으로 현장의 문제점들을 조기에 발견하고 예방할 수 있도록 하는데 기여하는 기술임. 사이버-물리

시스템에서 사이버 제조현장을 구현하는데 기여함. 센서, MES, 빅데이터 분석기술 등이 포함됨. 상대적으로 투자비용이 적음.

- **하드웨어 기술** 개인화된 제품생산과 최적화를 위해 지능화되고 자율적인 장비 및 설비 기술과 분권화된 생산공정 기술을 의미함. 인공지능 기술이 탑재되어 있는 장비와 설비기술 뿐 아니라, 생산시스템 구조를 변경(예, 컨베이어벨트 제거)하여 새로운 구조를 도입함. 사이버-물리 시스템에서 사이버상에서 자동으로 작업내용을 변경할 수 하드웨어 장비임. “Plug and Produce” 설비 기술, 인공지능이 탑재된 자동화 설비, AGV 등이 포함됨. 상대적으로 투자비용이 많이 소요됨.

앞에서 언급한 바와 같이 스마트제조 기술로 다양한 종류의 기술들이 있고, 이들 기술들의 역할도 상이하다. 본 연구가 2가지 유형으로 스마트제조 기술을 분류하는 것은 다양한 종류의 스마트제조 기술들의 기능과 역할을 세밀하게 고려하지 못 한다는 단점은 있지만, 이론의 간결성 측면에서 큰 장점이 있다(Wacker, 1998). 이론을 세우고 발전시키기 위해서는 많은 변수보다 중요한 소수의 변수에 집중하는 것이 바람직하기 때문이다(Handfield & Melnyk, 1998).

최근 Osterrieder et al.(2020)은 스마트팩토리와 관련하여 유명 학술지에 게재된 106개의 논문을 체계적으로 검토한 바 있다. 그들이 발견한 사항은 다음과 같다. (1) 스마트팩토리에 관해 사례연구들이 많고, 사례연구 내용들은 공통적으로 제조데이터를 사용하여 품질을 개선하였거나 효율성을 증대하였다는 증거를 제시하고 있다. (2) 대부분의 기존 연구들은 전술적 혹은 운영적 차원에서 스마트팩토리의 특징과 운영방법을 제시하고 있다. (3) 기술적 엔지니어링 관점에서 세부 스마트팩토리 기술들의 기능을 소개하고 있다. 마지막으로 (4) 경영 혹은 전략측면에서 스마트팩토리 기술의 역할에 대해서 소홀히 하고 있다. 특히 스마트팩토리 기술들이 성과에 미치는 영향을 실증적으로 분석하는데 소홀히 하고 있다.

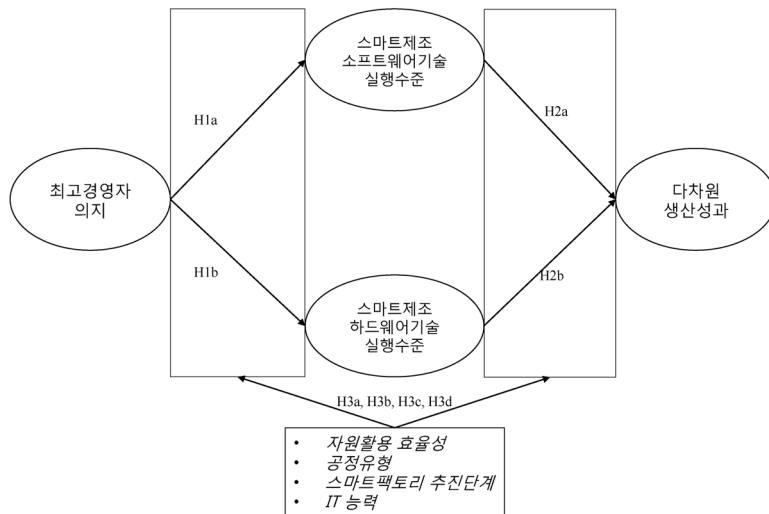
Raj et al.(2020)은 기존 연구문헌들을 고찰하여 스마트제조 기술 도입에 장애물이 되는 15개의 변수를 추출한 바 있다. Raj et al.(2020)은 디지털 인력과 훈련 부족, 빈약한 내부 인프라스트럭처, 투자자금 부족 등과 같이 내부능력 부족이 가장 중요한 변수임을 설명하였다. 이와 유사하게 Müller et al.(2018)은 스마트제조 기술의 실행에 있어서 내부변수들, 특히, 투자 비용, 종업원 저항이 장애물임을 실증적으로 밝혀냈다. Won and Park(2020)은 우리나라 중소제조기업을 대상으로 스마트제조 도입과 실행에 영향을 주는 요인을 실증분석 한 바 있다. 그들은 조직 지원이 가장 중요한 변수임을 제시하였다.

스마트제조를 도입하고 실행하는데 있어 제조기업이 가장 어려움을 겪고 있는 점은

기술적 요인보다는 비기술적 요인에 기인하고 있다(Raj et al., 2020). 새로운 기술을 도입하는데 있어 종업원들의 저항(김지대 등, 2018; 오주환 등, 2019), 기존 전략을 버려야 하는 위험 부담(Svahn et al., 2017), 막대한 투자 자금(Müller et al., 2018) 등이 스마트제조 기술을 도입하는데 걸림돌이다. 이러한 장애물을 극복하는데 있어 가장 중요한 변수는 해당 기업의 최고경영자의 의지이다.

2.2 연구모형

[그림 1]은 본 연구의 연구모형이다. 이 그림에서 보는 바와 같이, 본 연구는 최고경영자 의지가 스마트제조 기술인 소프트웨어 기술과 하드웨어기술 실행수준에 영향을 미치며, 차례로 이들 기술의 실행수준이 다차원 생산성과에 영향을 준다는 가설을 설정하였다. 아울러서 이들 변수들간의 관계를 조절하는 조절변수로 본 연구는 자원활용 효율성, 공정유형, 스마트팩토리 추진단계, IT 능력을 설정하였다.



[그림 1] 연구모형

2.2.1 최고경영자 의지가 스마트제조 기술 실행수준에 미치는 영향

김지대 등(2018)은 스마트제조 기술을 도입한 국내 5개 제조기업들을 대상으로 사례분석을 통하여, 스마트제조 기술을 도입하고 활용하는데 있어 최고경영층의 의지가 중요함을 발견하였다. 그들의 사례연구결과에 따르면, 모범적으로 스마트제조 기술을 전체 생산라인에 확대하여 실행하는 기업의 경우, 최고경영자는 솔선수범하여 종업원들을 설득하였으며,

스마트제조 도입에 따른 향후 해고를 하지 않겠다고 약속하였고, 기술지원을 해 주는 컨설팅 기관들에게는 요구하지도 않은 테스트 장비를 추가로 제공하는 등의 열의를 보여 주었다. 반면에 유사한 제품을 생산하는 다른 업체는 스마트제조 기술사용을 중단하였다. 중단의 가장 큰 원인은 최고경영자의 의지부족이었다. 스마트제조를 위해 극복해 나가야 하는 많은 장애물들에 대해 해당 최고경영자는 별 관심이 없었고 다만 직원들만 밤새워 스마트 제조를 구축하고자 하였지만 역부족이었다(김지대 등, 2018). 스마트제조 도입과 실행에 영향을 주는 요인들에 대해 대규모 문헌조사를 실시한 연구자들은 최고경영자의 의지에 대해서는 언급하지 않고 있다(Frank et al., 2019; Lu et al., 2020; Osterrieder et al., 2020; Raj et al., 2020). 그러나 전략적 선택 이론에서는 스마트제조와 같이 새로운 전략을 구상할 때 최고경영자의 전략적 의도가 매우 중요한 변수임을 제시하고 있다(Doty et al., 1993; Prahalad & Hamel, 1990; Stalk & Schulman, 1992). 따라서 본 연구는 전략적 선택 이론 관점에서 최고경영자 의지가 스마트제조 도입 및 실행에 실증적으로 어떠한 영향을 주는지를 규명하고자 한다.

H1a: 최고경영자의 의지는 스마트제조 소프트웨어 기술 실행수준에 정(+)의 영향을 줄 것이다.

H1b: 최고경영자의 의지는 스마트제조 하드웨어 기술 실행수준에 정(+)의 영향을 줄 것이다.

2.2.2 스마트제조 기술의 실행 성과

제조업에서 첨단 스마트제조 기술을 실행할 경우 다양한 기대효과가 예상된다. 그 이유는 스마트제조 자체는 적시 생산 시스템(Just In Time), 유연한 생산체제(Flexible Manufacturing System), 컴퓨터 통합 생산시스템(Computer Integrated Manufacturing)의 장점을 모두 갖고 있기 때문이다(명상일, 2018). 서창성 등(2018)은 소비자 맞춤형 대량생산 확대, 사전 시뮬레이션 및 End-to-End 엔지니어링, 제조업의 서비스화를 통한 경쟁력 강화, 도심형 공장 증가 및 재택근무 활성화와 같은 요소들을 스마트제조 효과로 제시하고 있다.

스마트제조가 창출하는 성과는 다차원 생산성과라는 특징을 갖는다(오주환, 김지대, 2019; 오주환 등, 2019). 즉, 원가절감, 불량률 감소, 납기축소 뿐 아니라 유연성 향상, 개인맞춤형 제품생산, 그리고 서비스향상까지 다차원의 성과를 향상시킨다. 실제적으로 스마트제조가 현장에서 다차원 성과를 배출하고 있다. 우리나라 중소벤처부는 2018년에 스마트 팩토리를 구축한 9,000개 중소기업들 중 5,003곳을 대상으로 스마트 팩토리 도입 성과를 조사한 결과를

발표한 바 있다. 여기서 생산성이 30%, 품질 43.5%, 납기 준수율이 15.5% 증가했고 대신 원가는 15.9% 감소하였으며, 고용이 업체당 평균적으로 3명이 늘어났다고 발표하였다 (매일경제, 2019).

최근의 연구자들은 지난 10여 년 동안 인더스트리 4.0, 스마트팩토리, 스마트제조와 관련된 연구문헌들을 고찰하였다(Hofmann & Rüsch, 2017; Lu, 2017; Osterrieder et al., 2020; Xu et al., 2018). 과거 연구들의 중요 이슈는 스마트제조 기술의 적용과 실행을 촉진하는 요인들을 규명하는 것이었다. 그러나 상대적으로 스마트제조 기술이 다차원 생산성과에 미치는 영향을 실증적으로 규명하는 연구가 부족한 것으로 나타났다. 대부분이 사례연구 수준에서 스마트제조의 성과를 제시하고 있기 때문이다(Osterrieder et al., 2020). 본 연구는 앞에서 언급한 스마트제조의 소프트웨어 기술과 하드웨어 기술이 생산성과에 미치는 영향을 실증적으로 규명하고자 한다.

H2a: 스마트제조 소프트웨어 기술은 다차원 생산성과를 향상시킬 것이다.

H2b: 스마트제조 하드웨어 기술은 다차원 생산성과를 향상시킬 것이다.

2.2.3 상황변수

Donaldson(1987)은 기업이 전략적 선택을 하는 패턴이 상황에 따라 달라져야 한다고 설명하고, 전략과 상황과의 적합성을 강조하는 상황이론의 중요성을 주장한 바 있다. 상황이론 관점에서 최고경영자 의지 - 스마트제조 기술(소프트웨어기술과 하드웨어기술) - 다차원적 생산성과의 관계에서 여러 상황변수들이 조절효과를 제공한다. 본 연구에서는 자원활용 효율성, 공정유형, 스마트팩토리 단계, IT능력을 상황변수로 제시한다.

자원활용 효율성(resource utilization efficiency). 자원활용 효율성은 매출액 대비 종업원 수 비율로 조작적 정의를 내릴 수 있다(김지대 등, 2004). 성과곡선(performance frontier) 이론에서는 자원활용 효율성이 매우 높아서 더 이상 여유 자원이 없는 기업들은 성과곡선 선상에 위치하고 있다고 설명한다(Roth et al., 2019). 성과곡선 선상에 위치한 기업들은 하나의 생산성과(예: 원가절감)를 향상시키기 위해서는 다른 생산성과(예: 유연성 혹은 제품다양성)를 포기해야 하는 상충관계를 경험하게 된다(Clark, 1996). 성과곡선 이론에 따르면, 자원활용 효율성이 높은 기업들은 더 이상 여유 자원(자산)이 없기 때문에, 이들이 획기적으로 원가절감, 유연성, 품질, 납기 등 다차원의 생산성과를 증대시키기 위해서 공장에 대한 구조적 투자를 해야 한다(Schmenner & Swink, 1998). 즉, 하드웨어에 대한 투자를

해야 한다. 새로운 기계 장비를 도입한다거나 새로운 생산공정 구조에 투자하는 조치가 필요하다. 반면에 자원활용 효율성이 떨어져서, 성과곡선 선상에 훨씬 못 미치는 기업들은 활용되지 못한 여유 자원(자산)이 있기 때문에, 새로운 하드웨어에 투자할 필요는 없다. 이들 기업들이 다차원 생산성과를 거두기 위해 소프트웨어적 접근만으로도 충분하다. 즉, 정보시스템 구축, 품질 데이터수집 및 분석, 종업원 교육훈련 등을 통해 성과곡선 선상으로 이동할 수 있다(Hayes & Pisano, 1996).

성과곡선 이론을 요약하면, 자원활용이 효율적인 기업은 더 나은 성과를 거두기 위해서는 하드웨어에 투자해야 하는 반면, 자원활용이 효율적이지 못한 기업은 소프트웨어 투자를 하는 것이 바람직하다. 이 이론을 스마트제조 기술 투자에 적용하면, 자원활용이 효율적인 기업의 최고경영자는 스마트제조 시스템을 적용하고자 할 때 스마트제조의 하드웨어 기술 실행수준을 높이는 것이 다차원적 생산성과를 향상시키는데 적합하며, 반면에 자원활용이 효율적이지 못한 기업의 경우 최고경영자는 스마트제조의 소프트웨어 기술 실행수준을 높여서 성과를 얻는 경로를 선택하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다. 따라서, 자원활용 효율성은 최고경영자 의지 - 스마트제조 기술(소프트웨어기술과 하드웨어기술) - 다차원 생산성과 간의 관계를 조절하라고 예상할 수 있다.

H3a: 자원활용 효율성은 최고경영자 의지-스마트제조 기술(소프트웨어기술과 하드웨어 기술)의 실행수준-다차원 생산성과간의 관계를 조절할 것이다.

공정유형(process type). 공정형태는 크게 2가지 유형, (1) 이산형(discrete type)과 (2) 연속형(continuous type)으로 구분할 수 있다(김지대 등, 2018; Jacobs & Chase, 2015; Kim et al., 2016). 이산형 공정은 기본적으로 조립 생산형태를 갖는 공정(예, 완성차 자동차산업의 공정)이다. 즉, 고객 주문에 따라서 상이한 제품을 조립해서 생산하는 방식이다. 반면에 연속형 공정은 장치 및 설비에 의존하여 제품을 연속적으로 생산하는 공정(예, 반도체산업의 공정)을 말한다. 제품이 일련의 정해진 경로를 따라 장비와 설비에서 연속적으로 생산되는 방식이다.

공정유형에 따라 스마트제조 기술의 역할이 상이하다. 이산형의 경우, 개인화된 제품 생산을 위해 지능형 자율 장비와 설비가 절대적으로 필요하다. 즉, AGV, 자동화 설비 등 하드웨어 기술의 역할이 매우 중요하다(김지대 등, 2018). 한편 연속형 공정의 경우, 장비의 유연성보다는 장비 효율을 유지하고 높이는 것이 중요한 사안이다. 즉, 장비 고장을 사전에 예방하고 장비 및 공구마모에 따른 제품불량을 미연에 방지하는 것이 중요하다(장영재,

2012). 따라서 센서 등을 장비에 부착하여 장비의 상태를 실시간으로 모니터링하고 장비에서 발생하는 로그 데이터(빅 데이터)를 분석하여 장비의 생산 파라미터 값을 보정하는 소프트웨어 기술이 더욱 중요하다(Kim et al., 2016). 따라서 다음과 같은 가설을 수립할 수 있다.

H3b: 공정유형은 최고경영자 의지-스마트제조 기술(소프트웨어기술과 하드웨어기술)의 실행수준-다차원 생산성과간의 관계를 조절할 것이다.

스마트공장 추진단계(smart factory development stages). 우리나라 정부의 스마트제조혁신 추진단은 스마트공장의 수준을 다음과 같이, 5단계로 구분하고 있다(산업통상자원부, 2018).

- 1단계(미 적용단계): 수작업, 종이문서, 엑셀이 활용되고 시스템이 갖추어져 있지 않는 단계임.
- 2단계(기초단계): 생산실적 이력 및 불량관리, 그리고 바코드, RFID를 활용하여 데이터 수집.
- 3단계(중간 1): 실시간 생산정보 수집 및 분석을 통해 생산 및 품질관리 뿐 아니라 실시간 설비 데이터를 수집하고 분석하여 설비 효율 및 설비 파라메타 관리.
- 4단계(중간 2): 공장 자동제어, PLC(제어기), 자동화 설비를 통해 시스템-설비 실시간 연동.
- 5단계(고도화): 설비 스스로의 판단에 의해 자율생산, 그리고 다기능 지능화 로봇과 시스템 간 유무선 통신.

일본 토요타 자동차는 생산라인을 새로운 자동화 장비와 설비로 교체하기 전에, 기존 생산라인의 문제점(예: 품질, 속도, 장비고장 등)을 데이터를 통해 분석하고 원인을 철저히 파악해 둔다(Hayes & Wheelwright, 1984; Hayes et al., 1988). 생산라인에 대한 통제력을 확보한 후에 설비 혹은 라인을 한 차원 높게 자동화한다. 그렇게 되면, 신규 자동화라인을 수월하게 안정화시킬 수 있기 때문이다(Hayes et al., 1988). 토요타의 자동화 전략은 순서적으로 하드웨어를 투자하기 전에 먼저 소프트웨어적으로 생산라인을 통제하는 것이다.

우리나라 정부가 구분한 스마트공장 추진단계의 특징은 저 단계에서는 하드웨어 기술도입 보다는 소프트웨어 기술의 도입과 실행에 초점을 두는 반면, 높은 단계로 갈수록 하드웨어 기술의 실행 수준을 높이는 것이다. 이러한 특징은 브라질 제조산업을 대상으로 스마트팩토리

실행수준을 실증적으로 검증한 Frank et al.(2019)의 연구결과와 일치하고 있다. Frank et al.(2019)은 스마트팩토리 실행수준의 고도화과정은 마치 레고(Lego)를 쌓아가듯이 스마트 제조 기술들을 차근차근 공장에 덧입히는 것과 같다고 설명하였다. 그들은 처음에 생산라인을 디지털화하기 위해 스마트제조 소프트웨어 기술(예, 빅 데이터 기술)을 도입하고 실행하지만, 성숙단계에서는 자동화 설비 기술을 활용하는 고도화된 스마트팩토리 단계모형을 제시하였다.

이상을 논의를 통해, 스마트공장 추진단계가 낮은 기업(2단계 기업)의 최고경영자는 스마트제조 소프트웨어 기술의 역할을 중요시 하는 반면, 스마트공장 추진단계가 높은 기업(3과 4단계 기업)의 최고경영자는 하드웨어 기술의 역할을 중요시 할 것으로 예상할 수 있다.

H3c: 스마트공장 추진단계는 최고경영자 의지-스마트제조 기술(소프트웨어기술과 하드웨어기술)의 실행수준-다차원 생산성과간의 관계를 조절할 것이다.

IT 능력(information technology capability). 기업의 IT능력은 기업내 IT 종사자 수, IT 투자 능력, IT 적용 수준 등으로 조작적 정의 할 수 있다(Kim & Kim, 2013). Won and Park(2020)의 실증분석에 따르면, IT능력의 유, 무가 스마트제조 실행에 가장 큰 영향을 주는 요인인 것으로 나타났다. IT 능력이 결여된 제조기업들은 외부에서 스마트제조 구축을 지원하였어도 스마트제조 시스템을 지속적으로 활용하는데 어려움을 겪을 수 있다(김지대 등, 2018).

독일정부는 제조업의 경쟁력에 심각한 문제를 직시하고 제조업 고도화를 위한 개인맞춤형 제품생산 시스템을 독일 중소기업이 도입하기 위해 인더스트리 4.0 정책을 추진하고 있지만(김기영, 2019; 김은 등, 2018), ICT능력이 부족한 대부분의 독일 중소기업들은 클라우드 컴퓨팅 기술을 스마트팩토리 도입시 배제하고 있다(Müller et al., 2018). 그 이유는 독일 중소기업들의 IT 인프라스트럭처는 매우 빈약하기 때문이다. 인터넷 보급과 속도와 IoT 등의 기술을 뒷받침하기에는 부족하였다. 이러한 상황에서 독일 제조기업들의 최고 경영자들은 전략적으로 하드웨어 도입에 더 많은 투자를 하였다(김은 등, 2018).

한편, IT능력이 뛰어난 미국의 스마트제조 전략은 새로운 하드웨어 도입보다는 소프트웨어 기술을 더욱 적극적으로 활용하는 것이었다(김기영, 2019; 김지대 등, 2018). 이러한 독일과 미국사례는 기업의 IT능력의 유, 무에 따라서 스마트제조를 위해 소프트웨어 기술 혹은 하드웨어 기술의 실행 수준이 달라질 수 있음을 시사해 준다. 즉, IT능력이 부족한 기업의 최고경영자는 스마트제조의 하드웨어 기술 실행수준을 높여서 성과를 거두는 경로를 선호할

것이며, 반대로 IT 능력이 높은 기업의 최고경영자는 스마트제조 소프트웨어 기술 수준 실행수준을 높여서 성과를 얻고자 할 것이다.

H3d: IT능력은 최고경영자 의지-스마트제조 기술(소프트웨어기술과 하드웨어기술)의 실행수준-다차원 생산성과간의 관계를 조절할 것이다.

III. 연구방법

3.1 표본

본 연구는 연구모형과 연구가설의 타당성을 검증하기 위해 설문지 조사방법을 사용하였다. 본 연구는 설문조사 업체(사람과 사회)의 도움을 받아서 스마트팩토리를 도입하여 실행 중인 국내 제조기업들에게 무작위로 온라인으로 접근하여 151개 응답기업을 확보하였다.

응답기업의 현황은 <표 1>에서 보는 바와 같다. 이 표에서 보는 바와 같이, 스마트팩토리 추진단계가 2단계 기업이 75.5%, 3단계 23.2%, 4단계 1.3%이다. 본 연구에서 설문응답자의 자격은 해당기업에 5년 이상 근무한 대리이상인 자로 한정하였다. 구체적으로 직급이 대리인 응답자 비율은 62.9%, 과장/차장 23.8%, 부장 7.9%, 그리고 임원 5.3%이었다. 또한 응답자의 자격으로 스마트팩토리 관련 업무를 관리하거나 수행하고 있는 부서에 소속된 자만 설문에 응답할 수 있도록 하였다. 따라서 스마트제조와 전혀 관련 없는 일반 행정인력은 설문 응답에서 배제하였다. 본 연구의 설문조사를 맡은 온라인 업체는 과거 국내 스마트팩토리에 관해 제조업체를 대상으로 수차례 설문조사한 경험이 있고, 이들 업체 명단과 설문 응답자 명단 등에 관한 광범위한 데이터베이스를 구축해 놓은 설문조사 기관이다. 따라서 스마트팩토리를 구축한 기업과 해당 기업의 설문 응답자를 찾는 과정은 어렵지 않았다.

직급이 낮은 응답자의 경우 회사 특성(예, 최고경영자의 의지 등)을 정확히 파악할 수 없는 경우가 발생한다. 이러한 문제를 해소하기 위해 기존 연구(오주환, 김지대, 2014; Atuahene-Gima and Li, 2004)는 합의 방식(consensus approach)을 활용하여 설문지를 작성할 것을 권고하고 있다. 특히, 오주환과 김지대(2014)는 환경경영 활동에 최고경영자의 의지를 측정할 바 있는데, 비록 다양한 직급과 근무연수를 가진 응답자들이 설문에 응답하게 했지만, 타 동료의 도움을 받으며 최고경영자 의지를 측정할 바 있다. 본 연구도 이러한 방법을 적용하여 설문서 작성 시 응답자들에게 확실한 판단과 평가가 불가할 경우 가급적 타 동료와 협의하여 작성하도록 설문서 서두에 요청하였다. 설문서 작성통계에 따르면, 한 설문지당 평균적으로 1.2명이 함께 설문을 작성한 것으로 나타났다.

〈표 1〉 응답기업 현황

변수	구분	빈도수(#)	비율(%)
종업원 수	50인 미만	31	20.5
	50~150인 미만	32	21.2
	150~300인 미만	37	24.5
	300인 이상	51	33.8
	합계	151	100.0
공정형태	이산형	71	47.0
	연속형	80	53.0
	합계	151	100.0
스마트팩토리 추진단계	1단계(기초1)	0	0
	2단계(기초2)	114	75.5
	3단계(중간1)	35	23.2
	4단계(중간2)	2	1.3
	5단계(고도화)	0	0.0
	합계	151	100.0
산업	음/식료품	1	0.7
	섬유제품	2	1.3
	전기전자	63	41.7
	자동차	13	8.6
	금속기계	50	33.1
	기타 제조업	22	14.6
	합계	151	100.0

3.2 변수의 측정

본 연구가 측정한 변수들의 문항은 <표 2>에서 보는 바와 같다. 최고경영자 의지 측정항목으로 2문항, 소프트웨어 기술 실행수준 문항으로 8문항(2문항은 제외되어 6문항이 사용), 하드웨어 기술 실행수준 5문항, 다차원 생산성과 측정을 위해 8문항(1문항은 제외되어 7문항이 사용)이 사용되었다. 그리고 통제변수로 기술능력을 측정하기 위해 2문항이 사용되었다. 측정방법은 지난 2년 동안 현황을 리커트 5점 척도(1 = 강한 부정, 5 = 강한 긍정, 혹은 1 = 매우 낮음, 5 = 매우 높음)를 사용하여 측정하였다. 한편 상황변수인 자원활용 효율성은 매출액/종업원 수로 측정하였다. 공정유형은 이산형인 경우 '0'값을, 연속형인

경우 ‘1’값을 부여하였다.

본 연구는 설문 응답자가 <표 2>에서 분류한 스마트공장 추진단계 표를 참조하여, 가장 적합한 자사의 스마트공장 수준을 평가하게 했다. 설문 응답자의 직급과 업무에 따라 응답자의 판단이 불분명할 수 있다. 이 점은 본 연구의 한계라고 사려된다. 그러나 앞에서 기술한 바와 같이, 본 연구는 설문 응답자가 자신의 판단에 확신이 없을 때, 타 동료의 도움을 받도록 권고한 바 있다. 이러한 요청은 불분명한 판단의 문제를 다소 완화시킬 수 있었을 것으로 예상된다. 특히, <표 1>에 제시된 설문 응답자들이 평가한 자사의 스마트공장 수준 평가 분포결과(1단계: 0%, 2단계: 75.5%, 3단계: 23.2%, 4단계: 1.3%, 5단계: 0%)는 대체로 2019년 6월 우리나라 중소벤처부가 분석한 9,000개 스마트팩토리 구축 제조기업들의 스마트공장 추진단계 분포(1단계: 0%, 2단계: 78.7%, 3단계: 19.9%, 4단계: 1.4%, 5단계: 0%)와 유사함을 할 수 있다(김기영, 2019). 따라서, 본 연구의 설문 응답자들이 평가한 자사의 스마트공장 수준은 크게 왜곡되지 않았다고 판단할 수 있다.

본 연구에서는 스마트공장 추진 2단계에 ‘0’값을 부여하였고, 3단계와 4단계에 ‘1’값을 부여하였다. 1단계는 스마트공장 미 적용단계이고 본 연구 표본에서도 여기에 해당하는 기업이 없기 때문에 제외되었다. 2단계는 기초적인 ICT(바코드, RFID)기술을 이용하여 생산 데이터를 디지털화하여 생산 현장을 단순 모니터링하는 데 주안점을 두는 기초단계이다. 이에 반해 3단계와 4단계는 디지털화된 생산 데이터를 이용하여 자동화를 실현하는 데 특징이 있다. 3단계는 중요 설비들 혹은 중요 생산라인을 통제하고 자동화하는 데 초점을 두는 중간 1단계이며, 4단계는 대부분의 생산라인을 대상으로 자동화하는 초점을 둔 중간 2단계이다(오주환, 김지대, 2019). 따라서 3단계와 4단계는 자동화 범위만 다를 뿐 기본적으로 자동화를 실현하여 통제와 최적화를 추구한다는 공통점을 갖고 있다. 한편, 본 연구표본에서 5단계에 있는 기업은 없기 때문에 5단계는 제외되었다. 따라서, 본 연구는 2단계와 3-4단계를 구분하였다.

본 연구에서 IT능력을 위해 2개 문항이 활용되었다. <표 2>에서 보는 바와 같이, 변수들의 측정항목들이 개념신뢰성(모두 0.7 이상 상회)과 수렴타당성(모든 AVE값이 0.5를 상회함)을 갖고 있음을 확인할 수 있다(Fornell & Larcker, 1981). <표 3>은 변수의 판별타당성 분석결과를 보여 주고 있다. 이 표에서 보는 바와 같이, 변수들간의 상관관계 계수가 가장 높은 값은 0.448(하드웨어 기술과 소프트웨어 기술간의 상관관계 값)인 것으로 나타났다. 그러나 이 수치는 변수들의 AVE값 중에 가장 작은 0.585(다차원 생산성과의 AVE값)의 제곱근인 0.765보다 낮은 수치다. 따라서 변수들의 판별타당성을 확인할 수 있었다(Fornell & Larcker, 1981).

〈표 2〉 측정항목의 신뢰성과 타당성

변수 (참고문헌)	측정항목	요인 적재값	개념 신뢰성	AVE
최고경영층의지 (김지대 등, 2018)	최고경영자의 스마트 팩토리에 대한 이해와 추진의지	0.881	0.922	0.855
	최고경영자의 스마트 팩토리에 대한 명확한 비전 제시	0.967		
소프트웨어 기술 실행수준 (김지대 등, 2016; 김재성, 2017)	최적의 작업방법이 적용된 생산 공정의 구축을 위해 빅데이터 분석기술 활용	0.846	0.898	0.598
	공장의 생산성과 품질성과를 최적화하기 위해 빅데이터 분석기술 활용	0.884		
	최적의 제품 생산리드타임 단축을 위해 빅데이터 분석기술 활용	0.755		
	현행 생산프로세스의 상태를 실시간으로 파악하고 이것을 점진적으로 개선하기 위해 빅데이터 분석기술 활용	제거		
	현행 작업방법의 효과성을 실시간으로 파악하고 이것을 점진적으로 개선하기 위해 빅데이터 분석기술 활용	0.693		
	신제품성과를 실시간 파악하고, 현행 신제품개발 프로세스를 점진적으로 개선하기 위해 빅데이터 분석기술 활용	제거		
	공장의 생산성과 품질성과를 실시간으로 파악하고 이들 성과와 관련된 업무를 점진적으로 개선하기 위해 빅데이터 분석기술 활용	0.691		
	현행 제품 생산리드타임을 점진적으로 개선하기 위해 빅데이터 분석기술 활용	0.750		
하드웨어 기술 실행수준 (최영환, 최상현, 2017)	설비 자동화 실현	0.903	0.961	0.830
	설비가 지능적으로 제품을 생산	0.932		
	설비가 자율적으로 제품 생산	0.927		
	설비 생산성 향상	0.894		
	설비 자율화 실현	0.899		
다차원 생산성과 (산업통산자원부, 2018).	스마트 팩토리를 통해 시간당 생산량 증가	0.787	0.917	0.585
	스마트 팩토리를 통해 제조 리드타임 단축	0.774		
	스마트 팩토리를 통해 공정불량률 감소	0.802		
	스마트 팩토리를 통해 완제품 불량률 감소	0.877		
	스마트 팩토리를 통해 재공재고 감소	0.803		
	스마트 팩토리를 통해 고객에 대한 납기 단축	0.832		
	스마트 팩토리를 통해 고객의 주문을 충족하기	0.613		

변수 (참고문헌)	측정항목	요인 적재값	개념 신뢰성	AVE
	위한 제조 프로세스(공정)의 신속한 변경 가능.			
	스마트 팩토리를 통해 제품믹스(구색)의 신속히 변동 가능	제거		
기술능력(통제변수) (오주환, 김지대, 2019)	제품설계능력	0.954	0.977	0.965
	공정설계능력	0.978		
IT 능력(상황변수) (Kim et al., 2016)	다음의 2 변수 (1) IT 운영능력 수준, (2) IT인력 수의 리커트 5점 척도값(1=매우 낮음, 5=매우 높음)을 평균하고, 중위수(3.4)를 구하여 2개의 기업집단으로 나눔. 중위수보다 낮은 하위값을 갖는 IT능력이 낮은 기업집단에 '0'값을 부여하고 상위값을 갖는 IT능력이 높은 집단에 '1'값을 부여함.			
자원활용 효율성(상황변수) (Clark, 1996; 김지대 등, 2004)	표본을 매출액/종업원수를 기준으로 순위를 산정한 후, 하위 50% 기업들에 '0(자원활용 효율성이 낮은 집단)'값을 부여하고, 상위 50% 기업들에게 '1(자원활용 효율성이 높은 집단)'값을 부여함			
공정유형 (상황변수) (Kim et al., 2016)	0: 이산형, 1: 연속형 이산형 공정: 조립 생산형태를 갖는 공정(예, 완성차 자동차산업의 공정)임. 즉, 고객 주문에 따라서 상이한 제품을 조립해서 생산하는 방식. 연속형 공정: 장치 및 설비에 의존하여 제품을 연속적으로 생산하는 공정(예, 반도체산업의 공정). 제품이 일련의 정해진 경로를 따라 장비와 설비에서 연속적으로 생산되는 방식.			
스마트공장 추진단계 (상황변수) (산업통상자원부, 2018)	수준		수준내용	주기능
	1단계 (미 적용)	수작업, 종이문서, Excel 정도 활용, 시스템을 갖추지 못한 상태		Checking
	2단계 (기초단계)	일부 공정과 설비에 기초적인 ICT(바코드, RFID 등) 적용을 통한 생산관리(lot Tracking, 자재흐름 등 파악) 시스템 구현		Monitoring
	3단계 (중간 1)	분야별 시스템(MES, ERP, SCM, PLM)과 부문연계와 모든 설비간 Interface를 통한 실시간 정보수집, 공정운영 모니터링과 품질분석 수행		Control
	4단계 (중간 2)	모든 시스템(MES, ERP, SCM, PLM 등)간 실시간 연동과 통합제어를 통한 생산관리 최적화 구현		Optimization
	5단계 (고도화 수준)	IoT(Internet Of Things)와 CPS(Cyber Physical System)가 적용된 지능화되고 통합운영의 자율적인 생산체계 구현		Autonomy
<p>설문 응답자가 이 표를 보고 자사의 스마트공장 수준을 선택하게 하였음. 0: 2단계, 1: 3~4단계(연구표본에서 5단계 기업은 없기 때문에 4단계 까지만 고려함).</p>				

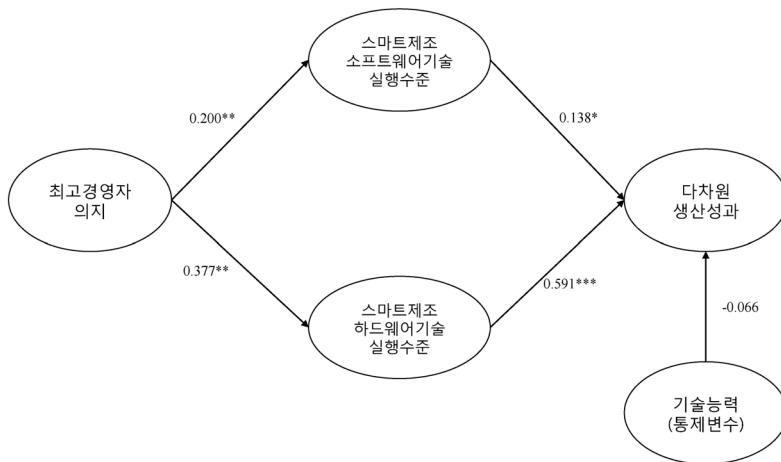
〈표 3〉 판별타당성 분석결과

구분	하드웨어기술 실행수준	소프트웨어기 술 실행수준	기술능력	생산성과	최고경영자 의지
하드웨어기술 실행수준	0.911				
소프트웨어기술 실행수준	0.448	0.773			
기술능력	0.401	0.271	0.847		
다차원 생산성과	0.634	0.386	0.320	0.765	
최고경영자 의지	0.337	0.200	0.519	0.317	0.925

주) 대각선에 있는 값은 해당 변수 AVE값의 제곱근임. 나머지 변수들은 상관관계 계수값임.

IV. 분석 결과

[그림 2]는 PLS 통계패키지를 사용하여 경로분석을 실시한 결과를 보여 주고 있다. 이 그림에서 보는 바와 같이, 최고경영자 의지는 스마트제조 소프트웨어기술 실행수준($\beta=0.220$, $p<0.05$)과 하드웨어기술 실행수준($\beta=0.377$, $p<0.05$) 각각에 통계적으로 긍정적인 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한, 소프트웨어기술 실행수준($\beta=0.138$, $p<0.1$)과 하드웨어기술 실행수준($\beta=0.591$, $p<0.01$)은 각각 다차원 생산성과에 모두 통계적으로 유의한 영향을 미친 것으로 나타났다. 이러한 결과들은 가설 H1a, H1b, H2a, H2b를 지지해 주고 있다.



* $p<0.1$, ** $p<0.05$, *** $p<0.01$.

[그림 2] 주효과 분석결과

한편, 최고경영층의 스마트제조 실행 의지가 높을수록 소프트웨어기술보다 하드웨어

기술의 실행수준이 더 크게 증가하는 것으로 나타났다(경로계수차이 = 0.177, $p < 0.01$). 차례로 하드웨어기술 실행수준은 소프트웨어기술 보다 다차원 생산성과에 더 많은 긍정적 영향(경로계수차이 = 0.453, $p < 0.01$)을 준 것으로 나타났다. 이러한 결과는 전략적 선택이론 관점에서 스마트제조 시스템을 도입하고 실행하려는 의지가 높은 최고경영자들은 보편적으로 하드웨어기술의 역할을 더욱 중요시 여기고, 하드웨어기술 실행수준을 더욱 높여서 다차원 생산성과를 얻고자 하는 전략적 선택을 한다는 특징을 보여주고 있다.

<표 4>는 자원활용 효율성의 조절효과 분석결과를 보여 주고 있다. 이 표에서 보는 바와 같이 자원활용 효율성이 낮은 기업집단($n = 75$)에서는 최고경영자 의지 → 소프트웨어 기술 실행수준 경로계수가 자원활용이 매우 효율적인 기업집단 보다 통계적으로 높게 나타났다(경로계수차이 = 0.338, $p < 0.05$). 그러나 최고경영자 의지 → 하드웨어 기술 실행수준 경로의 경우, 반대로 자원활용 효율성이 높은 기업집단($n = 76$)에서 해당 경로계수 값이 더 큰 것으로 나타났다(경로계수 차이 = -0.122, $p < 0.05$).

<표 4> 자원활용 효율성의 조절효과 분석

경로	자원활용 효율성이 낮은 집단($n = 75$) 경로계수(A)	자원활용 효율성이 낮은 집단($n = 76$) 경로계수(B)	A-B
최고경영자 의지 → 소프트웨어 기술 실행수준	0.389**	0.051	0.338**
최고경영자 의지 → 하드웨어 기술 실행수준	0.260**	0.382**	-0.122**
소프트웨어 기술 실행수준 → 다차원 생산성과	0.150*	0.127	0.032*
하드웨어 기술 실행수준 → 다차원 생산성과	0.502**	0.676***	-0.174**

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

한편, 소프트웨어 기술 실행수준 → 다차원 생산성과 경로의 경우, 자원활용 효율성이 낮은 기업집단의 경로계수값이 자원활용 효율성이 높은 집단의 경로계수값보다 큰 것으로 나타났다(경로계수 차이 = 0.032, $p < 0.1$). 그러나 반대로 하드웨어 기술 실행수준 → 다차원 생산성과 경로에서 자원활용이 효율적인 기업의 경로계수값이 그렇지 못한 기업의 경로계수 값보다 큰 것으로 나타났다(경로계수 차이 = -0.174, $p < 0.05$). 따라서 가설 H3a는 지지되었다.

이러한 결과는 자원활용 효율성이 낮은 기업의 최고경영자들은 소프트웨어 기술 실행수준을 더욱 높여서 다차원 생산성과를 얻는 경로를 선택하는 반면, 자원활용 효율성이 높은 기업의 최고경영자들은 하드웨어 기술의 실행수준을 향상시켜 다차원 생산성과를

얻는 경로를 전략적으로 선택하고 있음을 보여 준다. 이것은 성과곡선 이론에서 주장하고 있는 내용과 일치하고 있다. 성과곡선 이론에서는 효율적 자원활용 기업의 경우 더 나은 다차원 성과를 얻기 위해 하드웨어에 투자하는 것이 바람직하며, 반대로 자원활용 효율성이 떨어져서 여유자산이 많은 기업은 소프트웨어투자에 더 많이 의존하는 것이 바람직하다고 주장하고 있기 때문이다.

<표 5>는 공정유형의 조절효과 분석결과를 보여준다. 이 표에서 보는 바와 같이 2개의 경로(최고경영층 의지 → 소프트웨어기술 실행 수준, 최고경영자 의지 → 하드웨어기술 실행 수준)가 이산형 공정(n = 71)과 연속형 공정(n = 80)간에 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉, 연속형 공정을 갖는 기업의 최고경영자들은 소프트웨어 기술(경로계수차이 = -0.242, $p < 0.05$) 뿐 아니라 하드웨어 기술(경로계수차이 = -0.132, $p < 0.05$)에 대한 실행수준을 이산형 공정의 경우보다 더 높이는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 연속형 공정을 갖고 있는 우리나라 제조기업들의 최고경영자들이 스마트제조를 적용할 때, 장비 상태의 실시간 모니터링과 예방적 유지보수 관리를 위해 오로지 소프트웨어 기술만 의지하는 것이 아니라, 공격적으로 새로운 자동화 장비에 투자하여 더 나은 장비효율을 확보하려는 노력을 기울이고 있음을 보여 준다. 대량생산 효율을 극대화하기 위해 새로운 장비 도입을 통해 생산공정을 최적화하고 있다고 볼 수 있다.

<표 5> 공정유형의 조절효과 분석

경로	이산형 공정 (n=71) 경로계수(A)	연속형 공정(n=80) 경로계수(B)	A-B
최고경영자 의지 → 소프트웨어 기술 실행수준	0.115	0.357**	-0.242**
최고경영자 의지 → 하드웨어 기술 실행수준	0.314	0.446**	-0.132**
소프트웨어기술 실행수준 → 다차원 생산성과	0.147	0.162	-0.015
하드웨어기술 실행수준 → 다차원 생산성과	0.602**	0.572**	0.030*

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

한편, 소프트웨어기술 실행수준 → 다차원 생산성과 경로계수값(경로계수차이 = -0.015, $p > 0.1$)은 두 공정유형 사이에 차이가 없지만, 하드웨어기술 실행수준 → 다차원 생산성과 경로계수값(경로계수차이 = 0.030, $p < 0.1$)은 이산형 공정에서 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 이산형 공정에서는 개인화된 제품생산 성과를 높이기 위해 지능적이고 자동화된 하드웨어에 대한 의존이 효과를 발휘하고 있음을 시사해 주고 있다. 이상의 결과는 가설

H3b를 부분적으로 지지하고 있다.

<표 6>은 스마트공장 추진단계의 조절효과 결과를 보여 준다. 이 표에서 보는 바와 같이, 스마트공장 추진단계 1~2단계에 있는 기업들의 수는 $n = 114$ 개이고, 3~4단계에 있는 기업의 수는 $n = 37$ 이다. PLS에서는 분석을 위한 적정 표본수와 관련하여 2가지 기준 중 최소한 하나의 기준을 충족시켜줄 것을 요구하고 있다. 즉, 변수의 측정문항 수들 중 가장 큰 수의 10배이거나, 특정 개념으로 오는 경로 수들 중 가장 큰 경로 수의 10배가 되어야 한다(Henseler et al., 2009). 본 연구에서 사용된 변수 측정항목 수들 중 가장 큰 수치는 7개이고, 특정 개념으로 오는 경로 수들 가장 큰 경로 수는 3개이다. 따라서 분석을 위한 표본 수는 70개 이상 혹은 30개 이상이어야 한다. 본 연구에서 스마트공장 추진단계가 높은 기업의 수는 37개 이므로 최소한의 기준인 30개를 넘어섰다.

PLS분석 결과, 스마트공장 추진단계 1~2단계에 있는 기업들은 3~4단계에 있는 기업들보다 소프트웨어 기술 실행수준이 다차원 생산성과에 미치는 영향이 더 큰 것으로 나타났다(경로계수차이 = 0.061, $p < 0.1$). 한편, 3~4단계에 있는 기업들은 하드웨어 기술 실행수준이 다차원 생산성과에 미치는 영향이 1~2단계보다 더 큰 것으로 나타났다(경로계수차이 = -0.241, $p < 0.01$). 스마트공장 추진단계 1~2단계는 모니터링 단계라 할 수 있으며, 3~4단계에 들어서면 최적화와 자율화 단계의 성격을 갖는다(최영환, 최상현, 2017). 따라서 1~2 단계 기업에서는 소프트웨어 기술의 효과가 더 크며, 3~4단계에서는 하드웨어 기술의 효과가 더 크다고 해석할 수 있다.

한편, 3~4단계에 있는 기업들의 최고경영자들은 자율화와 최적화를 위해 1, 2 단계의 기업집단보다 소프트웨어 기술에 대한 실행수준을 오히려 더욱 높이는 모습을 발견할 수 있다(경로계수 차이 = -0.101, $p < 0.1$). 이것은 3~4단계의 스마트공장 발전단계에서는 본격적인 하드웨어기술에 대한 투자뿐 아니라 더욱 정교한 소프트웨어기술에 대한 투자를 병행해야 한다는 기존 연구문헌의 주장과 일치한다(Frank et al., 2019). 그러나 최고경영자 의지 → 하드웨어 기술 실행수준 경로의 경우 두 집단 간의 경로계수가 차이가 통계적으로 유의하지 않는 것으로 나타났다. 비록 3~4단계의 기업집단에서 최고경영자 의지 → 하드웨어기술 실행수준 경로계수값이 1~2단계 기업집단의 경우보다 크지만 통계적으로 차이는 없었다. 이는 스마트공장 추진단계가 높고 낮음과 관계없이 최고경영자들이 하드웨어 기술에 대한 투자 선호도는 동일함을 보여 주고 있다. 이것은 아마도 [그림 2]의 주효과 분석결과에서 알 수 있듯이, 표본기업들의 최고경영자들이 보편적으로 하드웨어기술 실행수준을 높이는 것을 선호하는 것과 관련이 있다고 해석된다. 가설 H3c를 부분적으로 지지해 준다.

〈표 6〉 스마트공장 추진단계의 조절효과 분석

경로	1~2단계 기업집단(n=114) 경로계수(A)	3~4단계 기업집단(n=37) 경로계수(B)	A-B
최고경영자 의지 → 소프트웨어 기술 실행수준	0.115	0.216*	-0.101**
최고경영자 의지 → 하드웨어 기술 실행수준	0.314**	0.374*	-0.060
소프트웨어 기술 실행수준 → 다차원 생산성과	0.147*	0.086	0.061*
하드웨어 기술 실행수준 → 다차원 생산성과	0.602***	0.843***	-0.241***

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

〈표 7〉은 IT능력의 조절효과를 분석한 결과를 보여 주고 있다. IT능력이 낮은 기업집단은 높은 기업집단과 비교하여 다음의 2 경로, 즉 최고경영자 의지 → 소프트웨어기술 실행수준의 경로계수값(경로계수 차이 = 0.119, $p < 0.05$)과 소프트웨어기술 실행수준 → 다차원 생산성과의 경로계수값(경로계수 차이 = 0.304, $p < 0.01$)이 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 반대로 IT능력이 높은 기업집단에서는 다음의 2 경로, 즉 최고경영자 의지 → 하드웨어기술 실행수준의 경로계수값(경로계수 차이 = -0.234, $p < 0.01$)과 하드웨어기술 실행수준 → 다차원 생산성과의 경로계수값(경로계수 차이 = -0.120, $p < 0.05$)이 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 IT능력이 낮은 국내기업의 최고경영자는 상대적으로 약점이 있는 소프트웨어기술에 대한 투자를 높여서 소기의 성과를 거두며, IT능력이 높은 국내기업의 최고경영자는 하드웨어기술에 대한 투자를 높여서 성과를 거두고 있음을 보여준다. IT능력의 높고 낮음에 따라, 최고경영자 의지 → 스마트제조 기술 실행수준 → 다차원 생산성과 관계가 달라진다는 사실을 확인하였기 때문에, 가설 H3d는 지지되었다.

그러나 국내 기업에서 IT능력의 조절효과는 해외기업들과 반대되는 특성이다. IT능력이 떨어지는 독일기업들은 소프트웨어 기술에 연연하지 않고 하드웨어기술에 더욱 의존하는 경향이 있으며, IT능력이 높은 미국기업들은 상대적으로 소프트웨어기술에 더욱 의존하고 불필요하게 하드웨어기술에 대한 투자를 하지 않는 경향이 있기 때문이다(김기영, 2019). 국내기업들이 IT능력의 조절효과와 관련하여 해외기업들과 반대되는 특성을 갖는 이유는 아마도, 국내 ICT 인프라가 매우 우수하다는 사실과 관련이 있다고 보여진다. 우리나라가 4차 산업혁명 시대에 강점을 갖고 있는 분야는 ICT 인프라이다. 한국정보화진흥원은 OECD와 해외 주요기관들의 평가를 기준으로 2019년 한국의 ICT 인프라수준이 세계 최상위라고 발표한 바 있다. 인터넷 보급률 1위, 도시 지역 접속률 1위, 농어촌 인터넷 접속률 2위, 인터넷 접속 속도 1위, 5G 상용화 1위, ICT 발전지수 2위를 차지하였다(산업일보, 2019).

특히, 우리나라가 5G 기술의 상용화에 앞서고 있기 때문에, 우리 제조기업들이 이 기술을 활용한다면 사물인터넷, 증강현실 및 가상현실 기술, 실시간 빅데이터 수집 및 처리기술의 성능을 최대로 끌어 올릴 수 있다. 국내 ICT 인프라가 우수하기 때문에, 비록 IT능력이 열세인 국내기업들의 최고경영자들은 공격적으로 소프트웨어기술 투자를 하여 성과를 거둘 수 있다고 믿고 있는 듯하다. 반대로 IT능력이 우수하여 국내에 잘 갖추어진 ICT 인프라를 충분히 활용하고 있는 국내기업들의 최고경영자들은 더 나은 성과를 거두기 위해 하드웨어 기술의 역할을 더 강조하고 있다고 해석할 수 있다.

〈표 7〉 IT능력의 조절효과 분석

경로	IT능력이 낮은 기업집단(n = 75) 경로계수(A)	IT능력이 높은 기업집단(n = 76) 경로계수(B)	A-B
최고경영자 의지 → 소프트웨어기술 실행수준	0.282*	0.163	0.119**
최고경영자 의지 → 하드웨어기술 실행수준	0.201	0.435**	-0.234***
소프트웨어 기술 실행수준 → 다차원 생산성과	0.321**	0.017	0.304***
하드웨어 기술 실행수준 → 다차원 생산성과	0.489**	0.609**	-0.120**

* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$.

V. 토의 및 결론

본 연구는 스마트공장을 도입한 국내 151개 제조기업을 대상으로 최고경영자 의지 → 스마트제조 기술(소프트웨어 기술, 하드웨어 기술) 실행수준 → 다차원 생산성과 간의 관계를 규명하고, 이 관계를 조절하는 4개 변수들(자원활용 효율성, 공정유형, 스마트공장 추진단계, IT능력)의 조절효과를 살펴보았다.

본 연구결과를 요약하면, 스마트제조에 대한 최고경영층의 의지가 높을수록 스마트제조 소프트웨어 기술과 하드웨어 기술의 실행 수준이 높았으며, 차례로 다차원 생산성과에도 긍정적인 영향을 준 것으로 나타났다. 그리고 국내기업의 최고경영자들은 하드웨어기술에 대한 의존도를 높여 성과를 얻고자 하는 전략적 의도가 있음을 명확히 확인할 수 있었다. 한편, 상황변수들의 조절효과도 확인할 수 있었다. 구체적으로 자원활용 효율성이 높은 기업의 최고경영자들은 하드웨어기술의 실행수준을 증가시켜 다차원 생산성과를 얻는 경로를 선택하며, 자원활용 효율성이 낮은 기업의 최고경영자들은 소프트웨어기술이 중요성을 인식하고 이 기술의 실행수준을 높여 다차원 생산성과를 얻는 전략적 선택을

한다는 점을 발견할 수 있었다. 공정유형의 경우, 연속형 공정에서 최고경영자 의지가 소프트웨어기술뿐 아니라 하드웨어기술 실행수준 각각에 미친 영향이 상대적으로 이상형 공정 경우보다 모두 큰 것으로 나타났고, 이산형 공정에서는 상대적으로 연속형 공정보다 하드웨어기술 실행수준이 다차원 생산성과에 미친 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 또한, 스마트공장 추진단계가 낮은 기업들에서 소프트웨어기술 실행수준이 다차원 생산성과에 미친 영향이 상대적으로 더 컸으며, 스마트공장 추진단계가 높은 기업에서 하드웨어기술 실행수준이 다차원 생산성과에 미친 영향이 상대적으로 더 큰 것으로 나타났다. 그리고 스마트공장 추진단계가 높은 기업들에서 최고경영자 의지는 소프트웨어기술 실행수준에 더 큰 긍정적 영향을 주는 것으로 나타났다. 마지막으로 IT능력이 낮은 기업에서 최고경영자 의지가 소프트웨어기술 실행수준에 미친 영향과, 소프트웨어기술 실행수준이 다차원 생산성과에 미친 영향이 상대적으로 IT능력이 높은 기업의 경우보다 모두 큰 것으로 나타났다. 반대로 IT능력이 높은 기업에서 최고경영자 의지가 하드웨어기술 실행수준에 미친 영향과, 하드웨어기술 실행수준이 다차원 생산성과에 미친 영향이 상대적으로 더 큰 것으로 나타났다.

이론적 측면에서 본 연구의 기여점은 다음과 같다. 첫째, 본 연구는 스마트제조 기술을 도입하고 실행하는데 있어 전략적 선택이론 관점에서 최고경영자 의지의 영향을 살펴보았다. 즉, 최고경영자 의지가 스마트제조 기술들의 실행수준에 직접적으로 영향을 주어서, 궁극적으로 다차원 생산성과에도 영향을 미친다는 이론을 제시하였다. 둘째, 본 연구는 스마트제조 기술을 2가지 유형(하드웨어 기술, 소프트웨어 기술)으로 단순화하여 이들이 실행수준에 영향을 끼치는 요인(최고경영층 의지)뿐 아니라, 이들 기술의 실행수준이 다차원적 생산성과에 미치는 영향을 조사하였다. 이러한 단순화는 이론의 간결성 측면에서 기여점이라고 사료된다. 셋째, 본 연구는 상황이론 관점에서 스마트제조를 도입하여 실행하여 성과를 얻는 일련의 과정을 조절하는 4개 조절변수들을 제시하고, 이들 변수들의 조절효과를 실증적으로 규명하여, 이론의 발전에 기여하였다고 평가할 수 있다.

실무적 측면에서 본 연구의 기여점은 다음과 같다. 첫째, 자원활용 효율성이 떨어지는 기업의 최고경영자는 하드웨어 기술에 대한 투자보다 소프트웨어 기술들에 대한 투자에 우선순위를 두고 스마트제조 시스템을 실행하는 것이 다차원 생산성과를 얻는데 효과적인 반면, 자원활용이 효율적인 기업 최고경영자는 상대적으로 하드웨어기술 투자에 우선순위를 둘 필요가 있다. 둘째, 공정유형이 이산형 공정을 갖고 있는 기업의 최고경영자들은 하드웨어기술의 실행수준을 더욱 높여 생산성과를 얻는 것이 바람직해 보인다. 또한, 본 연구결과에 따르면, 연속형 공정을 갖는 기업의 최고경영자는 소프트웨어기술 실행수준을 상대적으로 높이지만, 이러한 노력이 다차원 생산성과 향상으로 연결되지 않고 있다. 따라서,

연속형 공정 기업에서는 이 끊어진 연결고리를 복구하는 것이 급선무이다. 셋째, 스마트공장 추진단계가 낮은 단계에 있는 기업들은 소프트웨어 기술이 다차원 생산성과에 미치는 영향이 크기 때문에 소프트웨어 기술의 실행 수준을 높이는데 노력을 기울일 필요가 있다. 그리고 스마트공장 추진단계가 상대적으로 높은 단계인 기업은 하드웨어 기술이 다차원 생산성과에 기여하는 부분이 크기 때문에 하드웨어 기술에 대한 실행수준을 전략적으로 높이는 것이 바람직하다. 뿐만 아니라, 스마트공장 추진단계가 상대적으로 높은 단계인 기업의 최고경영자들은 하드웨어기술 투자뿐 아니라 소프트웨어기술 투자도 병행하여 스마트제조 시스템의 완성도를 높여야 한다. 다섯째, IT능력이 낮은 기업의 최고경영자는 자사의 약점을 보완하는 차원에서 소프트웨어기술의 실행수준을 전략적으로 높여서 다차원 생산성과를 얻는 것이 바람직한 반면, IT능력이 높은 기업은 하드웨어기술 실행수준을 전략적으로 높여서 다차원 생산성과를 얻는 것이 바람직해 보인다.

본 연구의 한계는 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서는 전략적 선택이론 관점에서 최고경영자 의지라는 하나의 요인이 스마트제조 기술 실행수준과 다차원 생산성과에 미치는 영향만을 살펴보았다. 향후 연구에서는 다양한 관점에서 여러 요인들을 종합적으로 고려하고 분석하는 노력이 필요하다. 둘째, 본 연구에서는 연구표본의 적어 스마트공장 추진단계에 따라 표본을 2개 그룹으로 분류하는데 어려움이 있었다. 향후 연구에서는 연구표본 수를 늘려 이 문제를 해결할 필요가 있다. 셋째, 본 연구에서는 4개의 상황변수들의 조절효과를 분석하였다. 향후 연구에서는 다양한 조절변수들의 발굴이 요청된다. 넷째, 본 연구는 이론의 간결성과 발전성을 위해 스마트제조 기술을 2가지 유형(소프트웨어기술과 하드웨어기술)으로만 구분하였는데, 이론의 정교함을 위해 스마트제조 기술 유형을 세분화하여 분석할 필요가 있다. 다섯째, 본 연구에서는 7개의 서로 다른 생산성과 측정항목들은 하나의 개념으로 묶었다. 그러나 향후 정교한 분석을 위해서는 생산성과 측정항목들 각각을 종속변수로 선정하고, 스마트제조 기술이 각각의 생산성과 항목에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다. 아울러서 본 연구는 7개 생산성과 측정항목들이 서로 시너지 관계에 있다고 보고 반영적 지표로 사용하여 하나의 개념으로 묶었는데(김지대 등, 2004), 이들 측정항목들이 서로 이질적인 특성을 갖고 있기 때문에 향후 연구에서는 이들을 형성적 지표로 보고 하나의 개념으로 묶어서 분석할 필요가 있다.

참고문헌

김기영. 2019. 한국의 제조업: 성장과 혁신의 60년. 대한민국학술원.

- 김은, 이의훈, 조병선. 2018. 독일 인터스트리4.0상 기술혁신형 중소기업 현황과 정부 지원방안. 한국ICT융합네트워크.
- 김재성. 2017. 스마트 팩토리 구축을 위한 중소제조공정 빅데이터 분석 적용방안. 충북대학교 대학원 박사학위 논문.
- 김지대, 김기영, 전영수. 2004. 환경, 동태적 생산전략, 그리고 성과. 경영학 연구 33(1): 73-111.
- 김지대, 송영욱, 조완섭. 2016. 중소 제조기업들의 제조 빅데이터 기술 활용 욕구와 도입 의도. 기업경영연구 69(1): 47-68.
- 김지대, 지수영, 유관희. 2018. 중소제조기업에서 외부 제조 빅데이터 기술이전 성과에 영향을 끼치는 요인에 관한 연구: 한국전자통신연구원의 기술이전 사례. 정보기술아키텍처 연구 15(3): 307-327.
- 매일경제. 2019. 해외 나간 기업 돌아오도록 정부·노사 스마트공장 손잡아. 6월 3일.
- 명상일. 2018. IoT 기반의 스마트 공장 자동화 관리 시스템 구축에 관한 연구. 동명대학교 대학원 박사학위 논문.
- 변대호. 2016. 스마트공장 동향과 모델공장 사례. e-비즈니스연구 17(4): 211-228.
- 산업일보. 2019. 대한민국의 ICT 인프라 유선·모바일 모두 세계 최상위권. 4월 18일.
- 산업통상자원부. 2018. 스마트공장 정책 추진현황.
- 서창성, 정신진, 김석찬. 2018. 기업의 생산성 향상을 위한 스마트 팩토리 구축. 한국통신학회지(정보와통신) 35(6): 43-49.
- 오주환, 김지대. 2014. 중소기업의 환경경영에 영향을 끼치는 외부요인과 적합한 활동에 관한 연구. 중소기업연구 36(1): 159-187.
- 오주환, 김지대. 2019. 스마트팩토리의 전략적 활용 연구: 구축 목적 및 내용이 지속적 활용에 미치는 영향. 중소기업연구 41(4): 1-36.
- 오주환, 서진희, 김지대. 2019. 종업원 기술수용태도와 기술 사용용이성이 스마트공장 기술 도입수준과 제조성과에 미치는 영향. Journal of Information Technology Application and Management 26(2): 1-14.
- 장영재. 2012. 제조분야에서의 빅데이터기술 활용. 한국통신학회지(정보와 통신) 29(11): 30-35.
- 최영환, 최상현. 2017. 스마트공장 시스템 구축이 중소기업 경쟁력에 미치는 요인에 관한 연구. Information Systems Review 19(2): 95-113.
- Atuahene-Gima, K., & Li, H. (2004). Strategic decision comprehensiveness and new product

- development outcomes in new technology ventures. *Academy of Management Journal*, 47(4): 583-597.
- Clark, K. B. (1996). Competing through manufacturing and the new manufacturing paradigm: Is manufacturing strategy passe? *Production and Operations Management*, 5(1): 42-59.
- Culot, G., Orzes, G., Sartor, M., & Nassimbeni, J. (2020). The future of manufacturing: A Delphi-based scenario analysis on Industry 4.0. *Technological Forecasting & Social Change*, 157: 120092.
- Donaldson, L. (1987). Strategy and structural adjustment to regain fit and performance: In defence of contingency theory. *Journal of Management Studies*, 24(1): 1-24.
- Doty, D. H., Glick, W. H., & Huber, G. P. (1993). Fit, equifinality, and organizational effectiveness: A test of two configurational theories. *Academy of Management Journal*, 36: 1196-1250.
- Fornell, C., & Larcker, D. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1): 39-50.
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210: 15-26.
- Handfield, R., & Melnyk, S. A. (1998). The scientific theory-building process: A primer using the case of TQM. *Journal of Operations Management*, 16: 321-339.
- Hayes, R., & Wheelwright, S. (1984). *Restoring our Competitive Edge: Competing through Manufacturing*. NY: Wiley.
- Hayes, R., & Pisano, G. (1996). Manufacturing strategy: At the intersection of two paradigm shifts. *Production and Operations Management*, 5(1): 25 - 41.
- Hayes, R., Wheelwright, S., & Clark, K. (1988). *Dynamic manufacturing: Creating the learning organization*. NY: Free Press.
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sinkovics, R. R. (2009). The use of partial least squares path modeling in international marketing. In R. R. Sinkovics & P. N. Ghauri (Eds.), *New challenges to international marketing*: 277-319. Bingley, UK: Emerald Group Publishing Limited.
- Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89: 23-34.
- Jacobs, F. R., & Chase, R. B. (2015). *Operations and supply chain management*. NY: McGraw

Hill.

- Jang, K. S. (2017). *The smart factory trend analysis*. KB Financial Group Management Institute.
- Kim, G. A., & Kim, S. H. (2013). The impact of organizational internal IT capability on agility and performance: The moderating effect of managerial IT capability and top management championship. *Information Systems Review*, 15(3): 39-69.
- Kim, J. D., Chi, S. Y., Yoo, K. H., Cho, W. S., & Song, Y. W. (2016). An empirical analysis on the design strategy of big data system in the context of small and medium-sized manufacturing firms. *Journal of Information Technology and Architecture*, 13(4): 521-532.
- Lee, H. (2013). *An approach for utilizing big data for the competitiveness of manufacturing industry*. Korea Institute for Industrial Economics & Trade.
- Lee, B. S. (2017). Smart factory needs cautious preparation. *Dong-A Business Review*, 227: 84-90.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Integration*, 6: 1-10.
- Lu, Y., Xu, X., & Wang, L. (2020). Smart manufacturing process and system automation: A critical review of the standards and envisioned scenarios. *Journal of Manufacturing Systems*, 56: 312-325.
- Müller, J. M., Kiel, D., & Voigt, K.-I. (2018). What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. *Sustainability*, 10: 247.
- NIST (2014). Engineering Laboratory Program: Smart Manufacturing Operations Planning and Control.
- Osterrieder, P., Budde, L., & Friedli, T. (2020). The smart factory as a key construct of industry 4.0: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics*, 221: 107476.
- Park, H. (2014). The fourth industrial revolution and cyber-physical system. *Dong-A Business Review*, December, 52-59.
- Prahalad, C. K., & Hamel, G. (1990). The core competence of the corporation. *Harvard Business Review*, May-June, 79-91.
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country

- comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, 224: 107546.
- Roth, A., Tucker, A., Venkataraman, S., & Chilingirian, J. (2019). Being on the Productivity frontier: Identifying “triple aim performance” hospitals. *Production and Operations Management*, 28(9): 2165-2183.
- Schmenner, R. W., & Swink, M. L. (1998). On theory in operations management. *Journal of Operations Management*. 17(1): 97-113.
- Shih, W. C. (2014). What it takes to reshore manufacturing successfully. *MIT Sloan Management Review*, August, 55-62.
- Stalk, P. E., & Schulman, L. E. (1992). Competing on capabilities: The new rules of corporate strategy. *Harvard Business Review*, March.-April, 57-69.
- Svahn, F., Mathiassen, L., & Lindgren, R. (2017). Embracing digital innovation in incumbent firms: How Volvo Cars managed competing concerns. *MIS Quarterly*, 14(1): 239-253.
- Wacker, J. G. (1998). A definition of theory: Research guidelines for different theory-building research methods in operations management. *Journal of Operations Management*, 16: 361-385.
- Wiktorsson, M., Noh, S. D., Bellgran, M., & Hanson, L. (2018). Smart factories: South Korean and Swedish examples on manufacturing settings. *Procedia Manufacturing*, 25: 471-478.
- Won, J. Y., & Park, M. J. (2020). Smart factory adoption in small and medium-sized enterprises: Empirical evidence of manufacturing industry in Korea. *Technological Forecasting & Social Change*, 157: 120117.
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8): 2941-2962.